

## 고온초전도체의 전력케이블 응용



**황시돌**  
(전력연구원 선임연구원)



**현옥배**  
(전력연구원 책임연구원)



**성태현**  
(전력연구원 책임연구원)

### 1. 머리말

우리나라는 여전히 대도시로의 인구 유입이 계속되고 있으며 그 중 수도권의 인구 집중도는 세계적으로 그 유례를 찾아보기 어려운 정도로 심하다. 그러한 도시화의 진전 속에서 점차 심각성이 더해가고 있는 것 중의 하나는 지하공간의 부족 문제이다. 지하철, 수도, 전력, 통신, 가스, 대형건물의 지하실 등 현대 사회에 편리함을 주는 많은 시설들이 땅속 공간을 이용하기 때문이다.

전력의 경우 지난 15년간 수요 증가율이 거의 매년 10%를 초과하고 있으며, 앞으로도 한동안은 비슷한 추세가 이어질 것으로 예상하고 있다. 실제로 정부가 세운 최근의 장기전력수급계획서에 따르면, 어느 정도 포화가 예상되는 향후 10년간의 평균 전력 수요성장률도 5.2%로서 선진국들의 2배 수준에 이른다. 이러한 높은 수요 성장률에 맞추어 송전설비를 단기간에 건설하는 일은 기술적인 장애도 있을 수 있지만 현실적으로는 건설부지 확보와 보상, 환경영향과 지가하락에 대한 민원 등 기술 외적인 요인에 의하여 극도의 어려움에 직면하고 있다.

송전설비 건설에 따르는 앞서의 문제를 해소하기 위한 대안으로 최근 각광 받고 있는 것이 초전도체를 도체로 이용한 초전도 지중송전 기술이다. 초전도 지중송전 케이블은 기존의

구리선 케이블에 비하여 동일한 단면적에 수 배의 전력 수송이 가능하므로, 이미 건설되어 있는 지중 전력구나 판로를 이용하여 200% - 500%의 전력을 추가로 송전할 수 있어서 건설부지의 추가확보를 적게 해도 되고 지하 공간의 부족 문제도 상당부분 해결할 수 있다. 또한 가공 송전선에 비하여 지중선이 갖는 당연한 장점으로서 환경영향이나 지가하락을 우려한 민원도 대폭 줄어들 수 있다.

그러나 현재 개발이 완료되어 실증 시험 단계에 와 있는 초전도케이블이 기존의 구리선 케이블처럼 일반화 되기 위해서는 아직도 재료적인 측면과 시스템적인 측면 양쪽에서 기술적인 혁신이 이루어져 경제성이 보다 향상되어야 할 것이다.

지금도 1GVA급 이상의 대용량 송전의 경우는 경제성이 있다는 보고가 많지만, 실제의 전력계통에서 운전시험 등을 통하여 정확한 경제성 평가를 시도하는 것이 필요할 것으로 보인다.

이러한 관점에서 본고에서는 도체에 사용되는 초전도 재료를 포함한 초전도케이블의 개발 동향과 주요 국가에서 이루어지고 있는 실증 시험 내용에 대하여 소개한다.

### 2. 전력케이블용 고온초전도 재료

현재까지 초전도 케이블의 도체소재용으로 사용되는 고온초전도 재료는 Bi계 초전도체가 대부분을 차지하고 있다. Bi계

고온초전도체는 임계온도  $T_c$ 가 액체질소 증발온도를 초과하는 것으로서,  $T_c$ 가 80K인  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x(\text{Bi2212})$ 와  $T_c$ 가 110K인  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x(\text{Bi2223})$ 의 두 가지가 있다.

이 중에서 Bi2223는 Bi2212에 비하여  $T_c$ 가 20K 이상 높기 때문에 액체질소온도(77K)에서도 송전케이블과 같은 비교적 저자계 응용에서는 실용적인  $J_c$ 를 얻을 수 있다. 제조방법으로서는 이른바 은시스법이 사용되고 있다. 은시스법에서는 먼저 Bi-Pb, Sr, Ca, Cu의 산화물 또는 탄산염분말을 혼합소성·분쇄한 분말을 은과이프에 충전하여, 선으로 뽑은 단심선을 다발로 만들어 은과이프에 삽입함으로써 다심구조화 한다. 이것을 다시 선으로 뽑은 후에 테이프 형태로 압연 가공하여 열처리를 2회 반복하는데, 첫 번째는 Bi2223 상의 생성반응을 선재 중에서 일으켜 플레이크(flake)상의 다결정을 생성시키고, 두 번째는 초전도전류가 입계를 넘어설 수 있도록 입계를 강하게 접합한다. 선재를 다심구조로 하는 것은 다결정체의 초전도체로부터 나온 선재의 유연성을 좋게 하기 위함이다. 이렇게 하여 제작된 선재의 전류밀도  $J_c$  특성은 현재 단축에서  $7.0 \times 10^8 \text{ A/m}^2$ 를 넘는 것이 보고되어 있다. 200m급에서는 전류밀도  $I_c$ 가 100A를 초과하는 것도 개발되어 있다. 또 1,000m급의 장축선재도 제작되고 있으며, 장축선재의 특성을 그림 1에 나타내었다.

피복재가 순은인 경우와 합금의 경우 모두 장축에서  $J_c$ 는  $3.0 \times 10^8 \text{ A/m}^2$ 를 넘는 다. 그림 2에 1,000m급 선재의  $J_c$  분포를 나타내었다. 전 길이에 이르러 균일한 특성을 지니고 있는 것을 알 수 있다.

Bi2223 선재는  $T_c$ 가 높아서 넓은 온도 범위에서 이용가능하다. 단, 액체질소온도 영역에서는 피닝력이 약하기 때문에

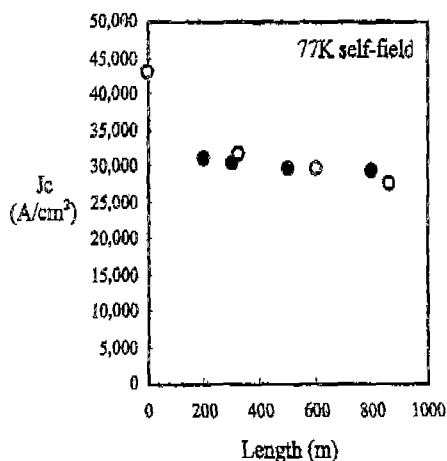


그림 1. Bi2223 장축선재의 제작길이와  $J_c(77\text{K}, 0\text{T})$ . (○는 순은시스, ●는 은합금시스)

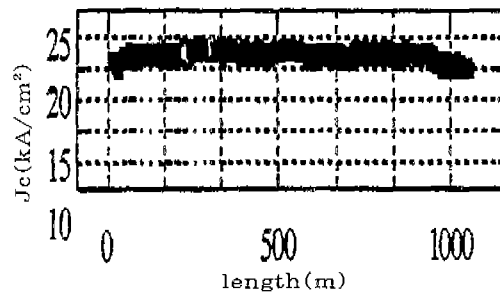


그림 2. Bi2223 1km 선재의  $J_c$  분포. (1)

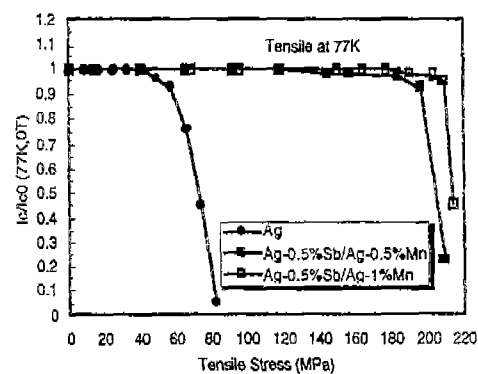


그림 3. 은합금시스 Bi2223선재의 77K 인장특성. (1)

실제로는 전력케이블 등의 저자계 응용에 한정된다. 수 테슬라 이상의 자계에서 응용하려면 온도를 낮추어 사용할 필요가 있다. 또 Bi계는 그 결정구조에 의존한 이방성을 가지므로 선재의  $J_c$ 특성을 임의온도, 임의 자계, 임의 인가자계 방향의 조건에서 알고 있어야 한다.

한편 순은시스 선재는 기계적 강도가 약하므로 시스의 합금화가 시도되고 있다. 합금원소로는 Mg와 Mn을 첨가하는 경우가 많다. 합금원소의 첨가량과 단면내의 배치방법 등에 대해서도 연구가 진행되고 있다. 예를 들어 초전도 필라멘트 주위에 Sb, 외피에 Mn을 첨가함으로써 초전도특성에 나쁜 영향을 주지 않고도 강도를 높일 수 있다. 이 때의  $J_c$  대 인장응력(77K)을 순은시스의 경우와 함께 표시한 것이 그림 3이다.

고온초전도체를 교류용 초전도케이블에 응용하는 경우는 교류손실을 줄이는 것이 대단히 중요한 문제이다. 교류손실 발생의 메카니즘은 과거의 금속계초전도체의 경우와 같다고 생각해도 되며, 소선 수준에서 교류손실의 저감을 위해서는 매트릭스의 고저항화와 필라멘트의 트위스트 등이 효과적인 것으로 알려져 있다.

지금까지 소개한 선재는 테이프 형태이지만, 소선간의 편류현상을 줄일 수 있고 대용량화도 비교적 쉬운 원형도체의 개

발이 진행되고 있다. 원형도체의 경우 전류밀도면에서는 개선이 된 반면 자계의존성이 커지는 단점을 보이기도 한다.

### 3. 초전도 케이블 개발 동향

초전도체는 전기저항이 0이며, 구리 등의 상전도체와 비교하면 같은 단면적에서 100-1000배의 전류를 흘릴 수 있다. 그래서 동일 송전용량의 케이블인 경우 도체부분은 압도적인 소형화가 가능하다. 특히 고온초전도체는 임계온도가 높아 액체질소로 냉각이 가능하게 되었고, 그 결과 송전비용을 줄이는 것도 가능할 뿐 아니라 1 GW 정도의 케이블에서도 대폭적인 소형화를 꾀할 수 있게 되었다. 즉 1GW급 지중 케이블의 경우, 건설기간과 건설비용이 많이 소요되는 대형 지중 전력구를 건설하는 대신 소형의 지중관로 속에 부설할 수가 있다. 그렇게 되면 전력수요 증가에 맞추어 기동성 있게 송전선로를 건설하는 것이 가능하다. 다시 말하여 초전도케이블 기술이 확립되면, 그 시점에 건설하려고 계획한 전력구의 많은 부분을 관로로 대체할 수 있고, 결국은 송전원가를 크게 줄일 수 있을 것이다.

현재 미국, 일본, 유럽 등이 치열하게 실용화를 향한 연구경쟁을 벌이고 있으며, 경쟁의 핵심은 도체의 교류손실을 저감하는 것과 냉각손실을 포함한 케이블 전체의 손실을 저감하는 것이다. 본래 초전도는 저항이 없으므로 전력손실은 발생하지

않는다. 그러나 교류를 통전할 때는 전류가 도체의 외측에 집중되고 내측에는 거의 흐르지 않는 편류현상이 나타나기 때문에 도체의 외측에 자리잡고 있는 선재는 전류가 포화되어 저항이 생길 수 있고 그것에 의하여 전력손실이 발생한다. 이 교류손실은 전류의 2-3승에 비례하며, 발열에 의한 온도상승을 가져와서 최악의 경우 도체는 초전도상태에서 상전도 상태로 변하게 된다.

표 1은 세계 각국에서 수행하고 있는 초전도 케이블 프로젝트의 개요이다.

미국 Southwire팀은 자사 구내의 공장에 전력을 공급하는 30m길이의 초전도케이블을 포설하여 시험중인데 이미 3,000시간 이상의 송전에 성공하였다 일본은 전력중앙연구소의 요코스카연구소에 66kV-1000A, 길이 100m의 3상 케이블을 설치하여 2001년 6월부터 과동전시험에 들어갔다. 한편 유럽에는 도시근교의 EMF 등의 환경대책의 하나로 초전도케이블의 개발을 추진하고 있으며, 프랑스는 가공송전선 대체를 위해 대용량(1GVA) 송전케이블의 개발을 진행하고 있다.

현재 초전도케이블에 사용되는 초전도 선재는 결정의 방향을 한쪽으로 배열하기 쉬운 테이프 형상으로 개발되고 있다. 그러나 테이프 선재는 한 가닥에 흘릴 수 있는 전류용량이 작기 때문에 대용량의 전력을 보내기 위해서는 선재를 여러 가닥 합해서 도체로 만들어야 한다. 도체화 방법으로서 테이프선재를 스파이럴 형태로 감고, 층간 절연을 해가면서 적층하는 다층스파이럴구조가 개발되어 있다.

그러나 이 방법은 도체화가 비교적 쉬운 반면 대용량화 하기 위해서는 층을 여러 겹으로 해야하고, 층간의 인덕턴스 차이에 의해 바깥 층으로 전류가 집중하는 편류현상이 생겨서 교류손실이 커진다. 이러한 편류현상을 억제하기 위해 지금까지는 각층의 초전도 선재의 피치를 조정하여 도체내의 전류가 균등하도록 하는 방법을 사용하였다. 이 방법도 대용량화 되어 선재의 층이 아주 많아지면 피치를 조정하는 것이 곤란하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 최근에 일본에서 전위(轉位)도체를 개발하였다. 전위도체란 그림 4와 같이 복수의 초전도테이프 선재의 위치를 도체 축방향에 대하여 내층-외층-내층으로 교대배치하는 것인데 이렇게 함으로써 전류의 불균일 문제를 해소할 수 있다

이런 구조는 선재에 가해지는 구부림이 매우 크므로 초전도 특성의 열화가 커지게 되는 새로운 문제가 생긴다. 이 새로운 문제를 풀기 위해 최근에 보통의 테이프선재보다 구부림에 강하고 폭이 좁은 선재를 고안하였다.

또한 이 전위도체는 전위를 구성하는 선재의 수를 많게 함으로써 전위도체로서의 전류용량을 증가시킬 수 있다. 그것을 다시 적층 전위구조로 만들면 대용량 저손실 도체의 제작이 가능하다. 적층 전위구조에 의한 전류균형화에 성공함으로써 전위도체의 교류손실은 0.1W/m(1,000A 통전시)수준에 도

표 1. 초전도케이블의 개발동향.(2)

연구팀	개발목표	개발단계	실증시험 일정
Pirelli,ASC Detroit Edison 등 (미국)	삼상24kV, 2.4kA (100MVA), 길이 120m	실계통투입, 운전특성 시험	2001년 케이블 설치 및 송전 (Frisbie S/S)
동경전력, 쓰미또모, CRIEPI (일본)	삼상66kV, 7kA 이상 (800MVA) 길이100m	프로토타입 으로 장기 신뢰성 시험 (66kV,1kA)	2001년6월부터 1년간 과동전 시험(요코스카 연구소)
Southwire IGC,ORNL 등 (미국)	삼상12.5kV 1.25kA (27MVA)	Southwire 구내선로에 전력공급 중	2000년 2월 송전 개시(3,000시간 이상 운전)
Pirelli, EDF 등 (프랑스)	삼상225kV, 2.56kA (1GVA)	장기과동전 시험 (30-50m)	2002년 프로토타입 시험 예정
NKT 등 (덴마크)	삼상 20-60 kV, 2-10kA	실계통시험 중 (삼상36kV, 2kA, 30m))	2001년 5월 Amager 변전소 구내에 설치. 실증시험 중

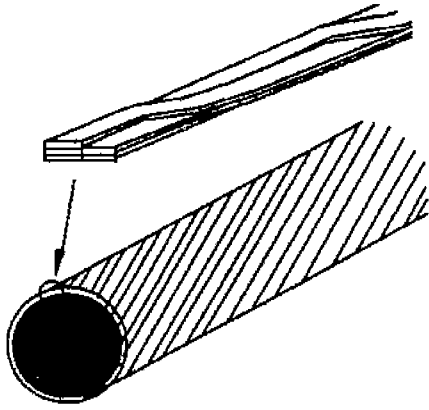


그림 4. 전위도체의 구조도.(2)



그림 5. Detroit Edison사 Frisbie 변전소의 초전도전력케이블 설치작업.(3)

달하였다. 이것은 초전도케이블 개발의 일반적 목표치인 1W/m의 10% 밖에 되지 않는 값이다.

현재 사용되고 있는 구리선 전력케이블의 손실은 약 33W/m(77kV, 단심 CV케이블 600mm, 1000A 통전시, 전력구 포설 조건)이므로 도체손실만 생각하면 초전도의 경우가 상전도의 약 1/300이다. 그러나 초전도케이블의 경우 냉각손실이 발생하기 때문에 전체 손실은 상전도의 약 절반 정도가 될 것으로 보고 있다.

#### 4. 주요국의 초전도케이블 실증 실험

##### 4.1 미국

고온초전도 전력케이블이 전력계통의 운전환경에 적합한지 여부를 검증하기 위하여 미국 에너지성에서는 도심지의 변전소 구내에 24 kV 100 MVA 고온초전도 케이블 시스템을 제작, 설치, 운전하는 SPI(Superconducting Partnership Initiative) 2단계 사업을 1999년에 시작하였다. 이 초전도 전력케이블 시스템은 2001년 7월부터 실제 전력계통에 전력을 공급하고 있으며, Michigan주 Detroit 중심가에 있는 Detroit Edison 에너지사의 Frisbie 변전소에서 60/100 MVA 120-24 kV 변압기의 24 kV 모선 쪽에 연결되어 있다.

또한 이 변전소에는 다음과 같은 실증실험에 유리한 여러 가지 장점을 갖고 있다. 대전류 2,400A가 필요하며(14,000 수용가에게 100 MVA를 공급하고 있는 기존의 OF케이블 1100 mm<sup>2</sup> 3상 3회선을 고온초전도 전력케이블 3상 1회선으로 대체하게 된다), 케이블 제조능력과 현장 설치조건들을 검증하는데 충분한 120 m 길이를 갖고 있고, 케이블의 현장 설치시 예상 문제점들을 사전에 검토할 수 있는 50년 된 판로를 갖고 있고, 실험에 필요하다면 전력계통으로부터 분리할 수 있는 회선을 갖고 있다는 점이다.

이 변전소를 선정할 때, 상업운전 목적보다는 도심지에서 더 큰 용량으로 케이블을 교체할 때 발생할 수 있는 여러 제약조건들을 파악하는 것이 더 중요한 사항으로 고려되었다. 이 실증실험 시스템은 옥외 단말장치와 옥내 단말장치, 중간 접속재, 무인 운전에 적합한 냉동장치를 갖추고 있으며, 지중 전력계통에 연결 설치하는 최초의 고온초전도 전력케이블이다.

##### 4.1.1 케이블 시스템

설치 현장에서 주어진 케이블 설계 필요조건들은 다음과 같다.

- 송전용량 24 kV 100 MVA
- 102 mm (4 인치) 판로에 포설
- 120 m 연속 포설 구간
- 최소 굽힘 반경 0.94 m

이를 충족하기 위해서는 크기가 작고 유연성이 큰 상온절연 방식(Warm Dielectric : WD) 전력케이블이 필요하다. WD 초전도 전력케이블의 측면도는 그림 6과 같고, 단면도는 그림 7과 같다. WD 초전도 전력케이블의 설계 요점은 저온유지장치(cryostat)로 된 극저온 환경으로부터 전기절연체를 분리한다는 것이다.

24 kV로 100 MVA를 송전하기 위해서는 교류 2,400 A의 전류용량이 필요하다. 이 용량을 충족하기 위하여 BiCaSr-CuO 테이프를 4 개 층으로 겹쳐 쌓은 도체를 만들었다. 직류 임계전류가 평균 118 A인 테이프를 사용하여 유연성이 있는 형태를 위에 감았다.

재래식 절연재료를 사용하기 위하여 이번 실증시스템에서는 EPR 고무를 절연재료로 사용하고 있다. 재래식 절연재료를 사용함으로써 새로운 절연시스템을 개발하고 검증하여야 하는

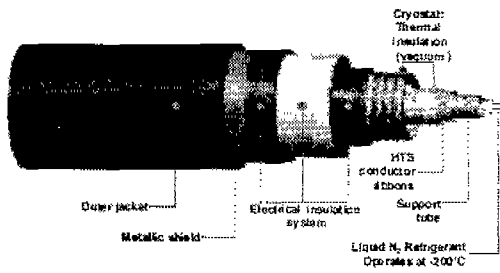


그림 6. 상온 절연 24 kV 고온초전도 전력케이블의 측면도.(3)

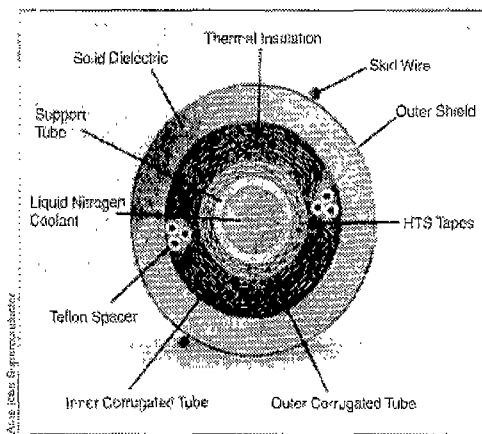


그림 7. 상온 절연 24 kV 고온초전도 전력케이블의 단면도.(3)

불편을 없앨 수 있으며, 재래식 시스템에 사용하였던 접속재 등을 이용할 수 있다.

이번 실증실험 시스템에 적용한 절연시스템은 재래식 24 kV 전력케이블과 유사하며, 도체 차폐층, 절연층, 절연 차폐층과 외부 피복층으로 되어 있다. 절연체는 3중 압출 기술을 적용하였다.

저온유지장치의 상대적인 유연성 때문에 전력케이블의 기계적 강도는 절연체가 좌우하고 있으며, 동일 크기와 전압의 재래식 전력케이블처럼 취급할 수 있다.

#### 4.1.2 냉각 시스템

고온초전도 재료를 사용하려면 시스템의 운전온도를 -196℃ (77 K) 이하로 유지하여야 할 필요가 있다. 고온초전도 도체는 전력케이블을 열적으로 절연시키는 진공절연 저온유지장치 안에 들어있다. 그러나 특수 설계한 냉각시스템을 이용해서, 저온유지장치를 통하여 침입하는 열과 전력케이블 내의 손실 때문에 발생하는 열을 제거시켜 적정 운전온도를 유지하여야 한다.

냉동장치는 전력케이블 시스템 안에서 발생하는 모든 열량을 제거하여 시스템의 출구 온도를 항상 최소 값으로 유지할 수 있는 충분한 용량이어야 한다. 전력케이블 시스템을 실제로 운전할 때에는 단기 과부하든가 고장전류와 같은 비정상적인 운전시 그 크기와 지속시간 특성들을 고려하여 냉동 시스템에 필요한 최대 입력을 결정하여야 한다.

실증실험 시스템의 정상적인 입력 용량은 약 4 kW이다. 이 규격은 전력케이블 시스템의 교류손실 거동과 열적 절연시스템 등에서 얻은 Pirelli의 경험적과 이론적인 연구를 통하여 결정되었다.

열을 제거하고 온도를 적정하게 유지하기 위하여, 작동유체로 헬륨을 사용하는 밀폐형 역 Brayton 사이클 냉동장치를 이용하였다. 완성 시스템은 Pirelli에서 정한 규격에 의하여 Lotepro회사에서 설계하고 제작하였고, 단기간 과부하 운전시에도 감당할 수 있도록 냉동용량을 30% 증대시켰다.

Frisbie 변전소는 대부분의 극저온 냉동장치 설비와는 달리 사람이 상주하고 있지 않다. 따라서 냉동시스템에는 원격 제어 장치와 사전에 설정한 한계치를 초과하는 여러 제한요소들에 대하여 운전자에게 경고하는 경보시스템을 갖추게 된다.

또한 냉동장치를 설계할 때에는 증발식 냉각시스템을 통하여 100% 냉각 여분이 갖추어지도록 반영한다. 이러한 부가 시스템은 주 냉동장치가 계획 정지 또는 고장으로 정지하더라도 전체 시스템 용량을 유지하도록 한다.

주 냉각장치와 예비 냉각장치, 액체질소 펌프와 제어설비들에 공급하는 전원을 별도로 분리하였다. 예비 시스템은 보조 액체질소 탱크를 이용하며, 예비 시스템이 그리 빈번하게 사용되지는 않는다고 할지라도 외부에서 들어오는 열침입 때문에 한 달에 한 번 정도는 저장탱크를 재충전할 필요가 있다. 이러한 시스템은 불편하기 때문에 상용 운전에서는 바람직하지 않다. 냉동 시스템의 위치는 냉동장치와 전력케이블 사이의 거리가 최소가 되도록 선정하여야 한다.

#### 4.2 일본

동경전력과 스미토모전공은 단적케이블, 단열관, 중단접속부 등 초전도케이블 시스템에 필요한 요소기술 개발을 완료하고 그 연구성과를 통합한 100m 길이의 케이블 시스템을 제작하여, 전력중앙연구소(CRIEPI)의 요코스카연구소에 설치해서 장기적인 실증 시험에 들어갔다. 실증시험의 주목표는 고온초전도 전력케이블 시스템의 제조가능성과 적용 가능성을 검증하는 것이다. 주요 시험 내용은 초기 냉각 시험, 장기 정적전류 전압 부하시험, 부하 변동 시험, 히트사이클 시험, 과전류 과전압 시험이다. 이 사업은 2001년 6월에 초전도 전력케이블 건설을 마쳤고, 2002년 중반까지 실증실험을 완료할 계획이다.

케이블은 직경 150 mm의 관로 내에 포설이 가능하도록 초전도 전력케이블을 설계하였으며, U 자형 굽힘과 대기압에 가

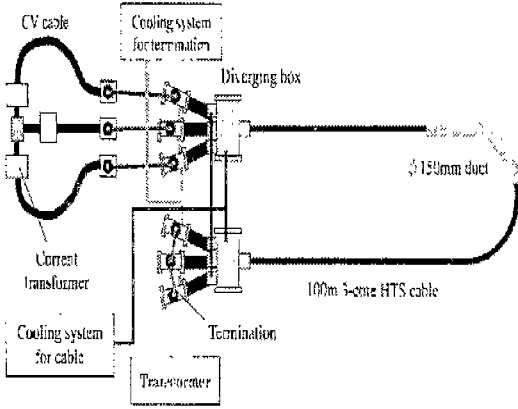


그림 8. 시험시스템 구성.(4)

표 2. 케이블 구조표.(4)

정격전압	66kVrms	
정격전류	1kArms	
정격용량	114MVA	
초전도 케이블	형상	삼심일괄형(외경: 136mm)
	길이	100m
	절연방식	저온절연방식 (반합성지와 액체질소의 복합절연)
	삼상분기부	2개소
	중단접속부	6개소(기중 타이프)
포설형태	지상포설(일부는 150mm 관로내)	
냉각시스템	액체질소가압순환방식 (케이블계, 중단접속부계 별도)	

표 3. 실험시스템 주요부분의 규격.(4)

부위	크기	구조 및 특징
초전도 테이프	0.24mm × 3.8mm	Bi2223계 초전도선(Ag-Mn스테이프소재), Ic 50A/tape 초전도부 Jc 22kA/cm <sup>2</sup> 이상
도체부	∅20mm	Former 위에 초전도선을 스파이럴모양으로 감는 형상
절연층	두께 7mm	PPLP에 액체질소를 함침한 저온절연 방식
shield 층	∅37mm	초전도선을 사용하여 도체와 반대방향의 전류를 흘려서 누설자속을 상쇄
보호층	∅39mm	케이블 코어 보호용
단열층	내경95mm 외경129mm	2중 SUS 주름관 형태이며, 주름관 사이에는 단열재를 쓴 진공 다층단열 구조
방식층	두께3.5mm	폴리염화비닐(OF케이블의 경우와 같음)

표 4. 시험 스케줄.(4)

	01/06	01/12	02/06
초기시험	—		
정격과전, 통전시험	—		
부하변동시험		—	
과부하 시험			—

같은 액체 질소를 이용하는 폐회로 냉각시스템을 갖추었다.

66kV 삼심 일괄형 고온초전도 케이블을 그림 8과 같이 포설하고 그 양단에는 3상분기부, 기중중단접속부를 설치하였다. 이 케이블과 함께 중단접속부 각각에 냉각시스템을 연결하여 액체질소를 순환시킨다. 이 실증시험시스템으로 3상 통전과 과전 시험을 동시에 수행할 수 있다.

시험시스템을 구성하는 케이블의 상세한 규격은 표 2, 기타 주요 부분들의 규격은 표 3과 같다.

전력중앙연구소에서의 전체 시험기간은 약 1년으로 잡고 있으며, 주요시험항목에는 정격과통전시험, 부하변동시험, 과부하시험 등이 포함되어 있다. 대강의 시험 스케줄은 표 4와 같으며 각 시험의 사이에는 시스템을 실은까지 상승시켰다가 다시 재냉각을 행한다.

## 5. 맺음말

액체질소로 냉각이 가능한 고온초전체가 발견된 이래 세계 각국에서는 보다 나은 특성을 가진 재료의 개발과 더불어 그것들의 응용분야를 찾는 데 많은 노력을 계속해 오고 있다. 분야에 따라서는 그러한 노력의 결실이 이미 나타나서 경제적 가치창출에 커다란 기여를 하고 있는 중이며, 전력 분야에서도 초전도 발전기, 케이블, 환류기, 변압기, 전동기, 전력저장 등 전기의 생산과 수송 그리고 소비에 이르는 전 영역에서 가시적인 성과가 나타나고 있다. 특히 여기서 소개한 초전도케이블은 연구개발 단계를 거쳐 상용화를 눈앞에 두고 있으며, 일부 선진국의 케이블 메이커에서는 전력회사를 상대로 마케팅을 시작한 상황이다.

이러한 주변 여건을 고려하여, 본고에서는 초전도케이블의 기본바탕을 이루는 초전도체 Bi2223의 개요와 그것을 이용한 전력용 초전도케이블의 국제적 개발 동향, 그리고 미국과 일본에서 진행되고 있는 실증시험 내용에 대하여 간략히 설명하였다. 특히 미국은 실제의 전력계통에 초전도케이블을 설치하

여 운전 및 유지보수에 관한 경험을 쌓아 가고 있으므로, 향후 우리 나라의 초전도케이블 개발방향 설정에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 현재로서는 기반기술이나 핵심 기술의 확보를 목적으로 초전도 재료 등 기초 분야의 연구를 추진함과 동시에 이미 선진국에서 개발해 놓은 기반기술을 최대한 활용하여 응용기술 개발로 직접 뛰어드는 중간진입 전략을 함께 구사하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] 초전도응용전력기기기술위원회, "HTS 초전도응용기술의 확산과 LTS 초전도응용기술의 동향", 일본 전기학회기술보고 838호, 2001.
- [2] 長屋重夫, "고온초전도의 전력응용에 관한 기술개발", 전기평론(일본) 2001. 6
- [3] 김상준, "초전도 전력케이블의 개발현황과 전망", 전기저널, 296호, 2001. 8
- [4] 일본전력중앙연구소, "고온초전도케이블 실용성검증시험 개요", 2001
- [5] Nathan J Kelly et al, "Field Demonstration of a 24-kV Warm Dielectric HTS Cable", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol. 11, No.1, March 2001

## 저 자 약 령

**성명 : 황 시 돌**

❖학력

1981년 연세대학교 전기공학과 졸업  
1986년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사)

❖경력

1980년 한국전력공사 입사  
-현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

**성명 : 현 옥 배**

❖학력

1976년 연세대 물리학과 졸  
1987년 아이오와 주립대 이학박사(Ph.D)

❖경력

1987년 Ames Lab. Postdoctoral Fellow  
1991년 National Institute of Standards and Technology (NIST) 연구원  
1992년 ISTE Fellow  
-현재 한전 전력연구원 책임연구원

**성명 : 성 태 현**

❖학력

1982년 한양대학교 공대 무기재료공학과 졸업  
1987년 동 대학원 무기재료공학과 졸업(공학석사)  
1991년 동경공업대학 재료과학 전공(공학박사)

❖경력

1991년-1992년 ISTEC 근무  
1992년-1995년 MIT Post. Doc.  
-현재 한전 전력연구원 책임연구원